Aus dem Tropenmedizinischen Institut der Universität Tübingen
Direktor: Professor Dr. med. H. J. Knüttgen

Änderungen von Wärmebilanzgrößen bei der Akklimatisation in trockenheißem Klima

Inaugural-Dissertation
zur Erlangung des Doktorgrades
der Medizin

dem Fachbereich Theoretische Medizin
der Eberhard-Karls-Universität
zu Tübingen

vorgelegt von
Walter Fischer
aus Marburg/Lahn

1970

Digitized by the Internet Archive
in 2026

https://archive.org/details/IA41543901_0094

Aus dem Tropenmedizinischen Institut der Universität Tübingen
Direktor: Professor Dr. med. H. J. Knüttgen

Änderungen von Wärmebilanzgrößen bei der Akklimatisation in trockenheißem Klima

Inaugural-Dissertation
zur Erlangung des Doktorgrades
der Medizin

dem Fachbereich Theoretische Medizin
der Eberhard-Karls-Universität
zu Tübingen

vorgelegt von
Walter Fischer
aus Marburg/Lahn

1970

UNIV.
LEIDEN

Dekan: Professor Dr. J. Peiffer

1. Berichterstatter: Professor Dr. W. Höfler
2. Berichterstatter: Professor Dr. H.J. Knüttgen

FOTODRUCK PRÄZIS Barbara v. Spangenberg KG · Tübingen

INHALTSVERZEICHNIS

	Seite
Einleitung und Fragestellung	1
Methodik	7
Ergebnisse	8
Diskussion der Ergebnisse	12
Zusammenfassung	22
Literaturverzeichnis	23

A Einleitung und Fragestellung

Jede Hitzeakklimatisation kann als eine Anpassung verstanden werden, die nach bestimmten thermoregulatorischen Prinzipien erfolgt. Legt man dem Vorgang der Thermoregulation das Modell eines Regelschemas zugrunde, so können daran die entscheidenden Veränderungen einzelner Körperfunktionen aufgezeigt werden. Aufgabe eines Regelsystems ist es, eine Regelgrösse auf einem bestimmten Wert, dem Sollwert zu halten. Weicht die Regelgrösse unter der Einwirkung von Störgrössen vom Sollwert ab, so wird diese Abweichung vom Regelzentrum durch Einsatz bestimmter Stellglieder beantwortet. Die Regelgrösse kehrt zum Sollwert zurück.

Im Falle der Thermoregulation ist die Kerntemperatur die Regelgrösse. Der Sollwert beträgt normalerweise 36,8 $\pm$ 0,06°C beim Mann, 37,0 $\pm$ 0,14°C bei der Frau, morgens nüchtern im Bett gemessen (LEITHEAD & LIND, 1964). Der Temperaturregler, bzw. das Regelzentrum wird im Hypothalamusgebiet vermutet. Hier wird weiter zwischen einem Kühl- und einem Erwärmungszentrum unterschieden, die in einer rostralen und kaudalen Kerngruppe des Hypothalamus gelegen sind. (Lehrbuch der Physiologie: REIN-SCHNEIDER). Im Regelzentrum und in der Haut gelegene Thermorezeptoren können als Messfühler verstanden werden, die die Regelgrösse kontrollieren. Während die in der Haut gelegenen Thermorezeptoren über lokale Mechanismen im Sinne einer Störwertaufschaltung bereits in Aktion treten, bevor es zu einer Verstellung der Regelgrösse kommt, spielt der im Zentrum gelegene Messfühler die entscheidende Rolle für den komplexen Ablauf der Thermoregulation.

Somit kann die Regelgrösse in dem durch den Hypothalamus fliessenden Blut gesehen werden. In einem Bereich von 34°C bis 41°C der Kerntemperatur kann eine Temperaturregelung aufrecht erhalten werden. Bei ausserhalb

liegenden Werten wird das Zentrum geschädigt (LEITHEAD & LIND, 1964; MINARD & COPMAN, 1963). Die Stellglieder, über die der Regler verfügt, sind Vasomotorik, Schweissdrüsenaktivität und Wärmebildung.

Über die Stellgrösse Vasomotorik wird durch Nachlassen des Vasokonstriktorentonus der Hautgefässe ein verbesserter Wärmeabstrom mit dem Blut vom Inneren zur Oberfläche des Körpers erzielt.

Die Stellgrösse Schweissbildung sorgt über die Verdunstung für eine Senkung der Hauttemperatur und erhöht damit den Temperaturgradienten zwischen Körperkern und Körperschale. Der Wärmetransport vom Kern zur Schale und die Wärmeabgabe an die Umgebung werden so verbessert.

Die Stellgrösse Wärmebildung bekommt in warmer Umgebung die Bedeutung einer Störgrösse. Das subjektive Gefühl der Abgeschlagenheit bei Hitzebelastung wirkt sich in einer verminderten Leistungsfähigkeit aus. Eine zusätzliche Wärmebildung wird vermieden.

Störgrössen, z.B. Arbeit auf einem Fahrradergometer bei hoher Raumtemperatur können nun eine Verstellung der Regelgrösse herbeiführen: Wärmebildung und Wärmeaufnahme übersteigen die Wärmeabgabe. Der Regler setzt seine Stellglieder in Tätigkeit, um die Wärmebilanz wieder auszugleichen. Damit nimmt der Körperkern die Stellung der Regelstrecke ein, auf der sich die Störgrössen im Sinne einer Verstellung der Regelgrösse auswirken können.

Unter gewöhnlichen Bedingungen findet ein dauernder Wärmestrom vom Inneren des Körpers zur Oberfläche statt. Man unterscheidet den homoiothermen Körperkern (65%) mit der Hauptmasse der Stoffwechselaktiven Organe und die poikilotherme Körperschale (35%), die den Schwankungen der Umgebung ausgesetzt ist (BAZETT, 1949; BÜNING, 1963). Unter warmen Bedingungen beträgt der Anteil der Schale nur 10–20% der Körpermasse.

Während der Körperkern aufgrund seiner Stoffwechselleistung fortlaufend Wärme produziert, wird über die kühlere Körperschale für den nötigen Abtransport an die Umgebung gesorgt, damit die Körpertemperatur nicht ansteigt. Voraussetzung dafür ist, dass die Hauttemperatur mindestens $1^{\circ}C$ unter der Kerntemperatur liegt (LEHMANN, 1965).

In dem hier dargestellten Versuch werden durch eine Raumtemperatur von durchschnittlich $45^{\circ}C$ und eine auf dem Fahrradergometer geleisteten Arbeit von 10 kpm/s Störgrössen wirksam, die durch eine vermehrte Wärmezufuhr, bzw. Wärmebildung eine Wärmespeicherung hervorrufen.

Für den Organismus gibt es grundsätzlich zwei Wege, die an der Normalisierung der KT beteiligt sind.

1. Durch Änderung des Wärmetransportes vom Kern der Schale.
2. Durch Änderung des Wärmeaustausches der Schale mit der Umgebung.

zu 1) Der Wärmetransport vom Kern zur Schale erfolgt durch Konvektion mit dem Blut. Die Grösse des Wärmetransportes ist abhängig von der Grösse der peripheren Blutdurchströmung und vom Temperaturgradienten zwischen Kern und Schale. Die Stellgrösse, die auf den peripheren Blutdurchfluss in der Haut wirksam ist, arbeitet über einen verminderten Vasokonstriktorentonus der Hautgefässe, teils lokal-peripher, teils zentralnervös.

Jede Erweiterung des peripheren Strombettes führt zu einer Kreislaufbelastung, da die zirkulierende Blutmenge zunächst nicht entsprechend zunimmt. Dieses Missverhältnis zwischen Gefässweite und zirkulierendem Blutvolumen lässt über die Kreislaufregulation die Pulsfrequenz ansteigen, um ein ausreichendes HMV zu halten. Für zusätzliche Belastungen steht keine ausreichende Reserve zur Verfügung. Infolge eines ungenügenden

venösen Angebotes kann es schliesslich zum Kreislaufkollaps kommen. In der Regel wird sich die Temperaturregulation zugunsten einer verbesserten Wärmeabgabe durch Zunahme der peripheren Durchblutung gegenüber der Kreislaufregulation über die Presso-rezeptoren durchsetzen.

zu 2) Ebenso entscheidend für die Temperaturregulation sind jedoch Änderungen der Wärmeabgabe von der Oberfläche an die Umgebung. Diese können über drei Wege erfolgen:

a) Wärmeabgabe durch Konvektion

b) Wärmeabgabe durch Strahlung

c) Wärmeabgabe durch Verdunstung

zu a) Für die Wärmeabgabe (-Aufnahme) durch Konvektion gilt die Beziehung: $Q_c = K_c \ (T_{Haut} - T_{Luft})$

Für K_c nach CLIFFORD u. Mitarb.

$K_c = 0{,}23.$ Windgeschw. 0.62 kcal/m^2.h.$^\circ$C

(Wind in ft/min).

zu b) Für die Wärmeabgabe (-Aufnahme) durch Strahlung gilt nach dem Stefan-Boltzmann'schen Gesetz:

$Q_s = K_s \ (T^4_{Haut} - T^4_{Wärme})$

Legt man eine effektive Strahlungsfläche von 80% der Körper zugrunde, und nimmt man bei geringer Temperaturdifferenz zwischen Haut und Wänden eine lineare Beziehung an (HÖFLER, 1968), so ergeben bei einer berechneten Körperoberfläche von 2,04 m^2 die Koeffizienten für C + S zusammengefasst,

$K_{c/s} = 16{,}3$ kcal/h. $^\circ$C

Die Gleichung für $Q_{c/s}$ heisst dann:

$Q_{c/s} = 16{,}3\ (T_{Haut} - T_{Luft})$ kcal/h.

zu c) Die Wärmeabgabe durch Verdunstung kann aus der Wärmebilanzgleichung berechnet werden.

$V = M \pm Q_{c/s} \pm \Delta H$ (kcal/h)

M = Gesamtstoffwechsel nach Abzug der mechan. geleisteten Arbeit.

ΔH = Wärmespeicherung

berechnet aus Körpergewicht

aus spez. Wärme von 0,83 kcal

aus Änderungeder Kerntemperatur während der Arbeiten.

Die Verdunstung hängt ab vom Dampfdruckgefälle zwischen Hautoberfläche und Umgebung, sowie von der Luftgeschwindigkeit. (NELSON, 1947; CLIFFORD, 1959). Die Luftbewegung sorgt für eine Erneuerung der über der Haut liegenden wasserdampfgesättigten Luftschicht.

Für $Q_v = k\ (e_{Haut} - e_{Luft})$

e = Wasserdampfdruck (Torr)

k = Verdunstungszahl

= f (Radius der verdunstenden Fläche)

= f (Luftgeschwindigkeit)

= f (Umgebungstemperatur)

Daraus lässt sich bei gegebenen Bedingungen die maximale Verdunstung (Verdunstungskapazität C) berechnen (gültig für vollständige Wasserbedeckung der Haut).

K wird von CLIFFORD und Mitarbeitern (1959) mit 0,45 x Windgeschwindigkeit ^{0,63} x kcal/h x m^2 x Torr angegeben. Bei einer Körperoberfläche von 2,04 m^2 und einer durchschnittlichen Luftbewegung von 0,5 m/s (= 100 ft/min) gilt C = 19,7 ($E_{Haut} - e_{Luft}$). E = Sättigungsdampfdruck bei HT, e = Dampfdruck der Luft. Infolge der hohen Verdunstungswärme von Wasser (597 kcal/g bei 30°C) spielt die Verdunstung für die Thermoregulation die dominierende Rolle. Liegt die Hauttemperatur unter der Umgebungstemperatur, so erfolgt die Wärmeabgabe ausschliesslich über die Schweissverdunstung.

In vorangegangenen Untersuchungen am Tropenmedizinischen Institut (LADIPOH, 1969; BRISBANE, 1969; HÖFLER e.a. 1969) konnte gezeigt werden, dass bei der Akklimatisation in feuchtheissem Klima Veränderungen in der Beziehung von Schweissmenge und Verdunstung zur Körpertemperatur und im Verhältnis von Schweissmenge zu Verdunstung stattfinden, die Aufschluss über den Nutzeffekt vermehrten Schwitzens beim Akklimatisieren geben und mit denen sich der erzielte Akklimatisationsgrad charakterisieren lässt.

Diese Versuche waren in feuchtheissem Klima und bei mittelschwerer Arbeit durchgeführt worden.

In der vorliegenden Arbeit sollen die gleichen Auswertungsmethoden auf ein trockenheisses Klima und schwererer Arbeitsbelastung angewandt werden.

B Methodik

Zunächst wurde die männliche, nicht hitzeakklimatisierte VP (29 Jahre, 180 cm, 84 kg) innerhalb von 10 Tagen bei Zimmertemperatur (ca. 20°C) auf einem Fahrradergometer bei einer Leistung von 10 kpm/s trainiert. Während des Hauptversuchs hatte die VP an 22 Tagen bei einer durchschnittlichen relativen Feuchte von 28% (min 22%, max 38%) 4 x 45 min eine Arbeit von 10 kpm/s bei 60 U/min zu leisten.

Folgende Messungen wurden vorgenommen:

1. Die Pulsfrequenz während Ruhe und Arbeit alle 5 Min.
   (Photoelektrischer Pulszähler nach E.A. MÜLLER).
2. Die Hauttemperatur an Stirn, Brust, Handrücken und Oberschenkel alle 5 Min.
   (Thermoelemente, Ellab, Kopenhagen).
3. Bestimmungen der Gesamtschweissmenge für jede Arbeit aus dem Gewichtsverlust.
   Bestimmung der Schweissmenge am Unterarm und Unterschenkel für die 1. + 4. Arbeit durch Auffangen in Plastikbeuteln.
4. Die Rektaltemperatur vor und nach jeder Arbeit.
5. Die lokale Verteilung der Schweissproduktion.
6. Der Na^+ und K^+- Gehalt aus Schweissproben nach jeder Arbeit für alle 22 Versuchstage.

Versuchsablauf:

Der Versuch begann täglich (ausser Sonntags) gegen 7.15 Uhr mit einer 30 min. Ruhezeit im Sessel. Vor Beginn jeder Arbeitsstunde wurde die VP gewogen und die RT gemessen. Eine Arbeitsperiode dauerte 45 Minuten.

In den Pausen zwischen den einzelnen Arbeitsstunden wurde die VP gewogen und die RT gemessen. Das beanspruchte durchschnittlich etwa 15 Minuten. Nach der 4. Arbeit wurde zusätzlich die lokale Schweissverteilung gemessen. Anschliessend durfte die VP die Klimakammer bis zum nächsten Versuchstag verlassen.

C Ergebnisse

1) Pulsfrequenzen

a) Für die Trainingspulsfrequenzen wurden im Durchschnitt
77/min. während der Ruhezeit,
108/min für die 1. Arbeit und
114/min für die 4. Arbeit gemessen.

b) Die Ruhepulsfrequenz im Hauptversuch lag bei durchschnittlich 84/min und war nur am 1. Hitzetag mit 97/min höher als an allen anderen Tagen.

c) Die Arbeitspulsfrequenzen fielen vom ersten bis zum 22. Versuchstag ab:
Für die erste Arbeit von 157/min am ersten Tag auf 117/min am 22. Tag;
für die vierte Arbeit von 153/min am 3. Tag (erst am 3. Tag wurde die vierte Arbeit voll durchgestanden) auf 124/min am 22. Tag. Das entspricht einem Pulsfrequenzabfall von 24,5%, bzw, 18,9%.

d) Bis zum 6. Tag fielen die Arbeitspulsfrequenzen steil ab: Mit 114/min für die erste Arbeit und 124/min für die 4. Arbeit wurden die Endwerte des 22. Tages (117/min bzw. 124/min) nahezu erreicht.

e) Nach dem 16. Tag glichen sich die Pulsfrequenzen für die 1. und 4. Arbeit zunehmend an.

2) Rektaltemperaturen (Abb. 2)

a) Im Trainingsversuch lag die Ruhe-RT bei durchschnittlich 36,9°C, die RT nach der 4. Arbeit bei durchschnittlich 37,5°C.

b) Im Hitzeversuch wurde eine durchschnittliche Ruhe-RT von 37,1°C gemessen. Am 1. Hitzetag laggdie Ruhe-RT mit 37,6°C höher als an allen anderen Tagen.

c) Die nach jeder Arbeit gemessenen RT fielen vom ersten bis 22. Versuchstag ab:
Für die erste Arbeit von 38,9°C am ersten Tag auf 38,3°C am 22. Tag, für die vierte Arbeit von 39,5°C am dritten Tag auf 38,3°C am 22. Tag.

d) Die Rektaltemperaturen für die einzelnen Arbeiten fielen bis zum 6. Tag steil ab:
Für die erste Arbeit auf 38,2°C,
für die vierte Arbeit auf 38,4°C.
Vom 6. Tag an verringerten sich die Differenzen zwischen den Rektaltemperaturen der einzelnen Arbeiten. Nach dem 16. Tag verschob sich der Tageshöchstwert uncharakteristisch von Stunde zu Stunde. (Bis zum 14. Tag lag die RT der 4. Arbeit stets am höchsten).

3) Wärmespeicherung (Abb. 3)

a) Die Wärmespeicherung nach vier Arbeitsstunden fiel von 168 kcal/4h am 3. Tag auf 56 kcal/4h am 22. Tag, also um 2/3 des Ausgangswertes.

b) Bis zum 6. Tag erfolgte ein steiler Abfall von 168 kcal/4h auf 84 kcal/4h. Damit wurden bereits am 6. Tag 50% des Gesamtabfalls

erreicht. (Vgl. Pulsfrequenz- und RT-Abfall). Bis zum 8. Tag stieg die Wärmespeicherung auf 132 kcal/4h erneut an. (Parallel zum Anstieg der RT während der 4. Arbeit auf 38,8°C an diesem Tag).

c) Bis zum 16. Tag nahm die Wärmespeicherung von Stunde zu Stunde zu. Ab 16. Tag stieg die Wärmespeicherung schon nach der 2. Stunde nicht mehr an, z.T. fiel sie sogar bis zur Beendigung der 4. Arbeit ab.

4) Wärmeaufnahme durch Konvektion und Strahlung (Abb. 4)

a) Die Wärmeaufnahme stieg unter z.T. erheblichen Tagesschwankungen von 495,5 kcal/4h auf 557 kcal/4h. Das entspricht einer Zunahme von 11,5%.

b) Am 11. und 12. Tag wurde das Maximum mit jeweils 590 kcal/4h erreicht. Wiederum erheblichen Tagesschwankungen (590 kcal/4h am 12. Tag gegenüber 526 kcal/4h am 13. Tag) fiel die Wärmeaufnahme auf den Endwert von 557 kcal/4h.

c) Die Wärmeaufnahme während der 1. Arbeit lag infolge niedriger Hauttemperatur durchweg über der der 4. Arbeit.

5) Schweissproduktion (Abb. 5)

a) Die Gesamtschweissmenge nahm vom 3. bis zum 22. Versuchstag um ca. 35% zu. (Von 3745 ml/4h auf 5060 ml/4h). Umgerechnet in kcal/4h entspricht das einer Zunahme von 2173 kcal/4h auf 2934 kcal/4h.

b) Nach gleichmässigem Anstieg der Mittelwerte aus vier Arbeitsstunden bis zum 9. Tag, erfolgte die weitere Zunahme der Schweissproduktion bis zum 22. VT unter grösseren Tagesschwankungen. Am 11. Tag wurde die Durchschnittsschweissmenge des 22. Tages mit 15,7 ml/kg-h bereits übertroffen.

Vom 11. bis 22. Versuchstag änderte sich die Schweissproduktion kaum noch. Am 19. Tag wurde der höchste Wert der Gesamtschweissmenge mit 16,8 ml/kg•h, bzw. 3280 kcal/4h (Abb. 5) erreicht. Das Schweissbildungsmaximum für die einzelnen Arbeitsstunden wechselte von Tag zu Tag in uncharakteristischer Weise.

c) Die Durchschnittsmenge aus sämtlichen Versuchstagen für die einzelnen Arbeitsstunden lag mit 14,09 ml/kg•h für die 1. Arbeit und 14,06 ml/kg•h für die 4. Arbeit nahezu gleich hoch. Es folgten die 3. Arbeitsstunde mit 13,29 ml/kg•h und die 2. Arbeitsstunde mit 13,07 ml/kg•h. Es trat eine Verschiebung des Schweissbildungsmaximum für die einzelnen Stunden ein:
Bis zum 9. Tag lag die durchschnittliche Schweissmenge in der 4. Std. über den Werten der 1., 3. und 2. Std. Nach dem 9. Tag war das Maximum der Schweissbildung auf die 2. Stunde verschoben, gefolgt von der 1., 4. und 3. Stunde.

6) Verdunstung (Abb. 6)

a) Die Gesamtverdunstung aus vier Arbeitsstunden stieg von 1360 kcal/4h am 3. Tag auf 1534 kcal/4h am 22. Tag. Das entspricht einer Zunahme von 13%.

b) Bis zum 6. Tag erfolgte ein kontinuierlicher Anstieg. Mit 1500 kcal/4h am 6. Tag wurden bereits ca. 95% der Gesamtzuwachsrate erreicht. Der weitere Anstieg erfolgte unter recht erheblichen Tagesschwankungen. Das Verdunstungsmaximum lag am 20. Tag mit 1561 kcal/4h um 20 kcal/4h über dem Wert des 22. Tages.

7) Verdunstungskapazität (Abb. 7)

a) Die Verdunstungskapazität für 4 Arbeitsstunden fiel vom 3. Versuchstag (1911 kcal/4h) zum 22. Versuchstag (1555 kcal/4h) ab. Das entspricht einer Abnahme von etwa 19%.

b) vom 3. - 9. Tag lagen die Werte auf einem Niveau von ca. 1910 kcal/4h ohne grössere Tagesschwankungen. Am 10. Tag stieg der Wert auf 2020 kcal/4h. Anschliessend folgte ein stufenweiser Abfall. Für die letzten drei Versuchstage erhält man einen Durchschnittswert von 1460 kcal/4h.

Diskussion der Ergebnisse

1) Kreislauf

Unter einer Hitzewirkung von 45°C wie bei unseren Versuchsbedingungen steigt die HT an, die periphere Durchblutung nimmt entsprechend durch Erweiterung der Hautgefässe zu. Bei relativer Hypovolaemie kann das HMV nur über eine Pulsfrequenzsteigerung gehalten werden.

Während die Ruhepulsfrequenz der VP bei Zimmertemperatur bei durchschnittlich 77/min liegen, stieg die Ruhepulsfrequenz am 1. Versuchstag auf 97/min. Bereits am 2. Tag fällt die Ruhepulsfrequenz auf einen Wert von 83/min, ohne bis zum Ende des Versuches weiter abzufallen.

Alleine schon die Hitzeexposition bei 45°C, ohne zusätzliche Arbeitsleistung, stellt somit eine Kreislaufbelastung dar, die allerdings schon am 2. Versuchstag kompensiert wird. Unter Arbeitsbedingungen (10 kpm/s bei 60 U/min) benötigt unsere VP immerhin sechs Versuchstage, bis das Niveau des 22. Versuchstages erreicht wird.

Erst nach 16 Tagen wird eine Angleichung der Pulsfrequenzen der 1. und 4. Arbeitsstunde erzielt. Bis zum 16. Tag lag die Pulsfrequenz der 4. Arbeit durchweg über der der 1. Arbeit. Nach zehntägigem Training bei Zimmertemperatur (ca. 20°C) wurden Pulsfrequenzwerte von 108/min für die erste Arbeit und 111/min für die 4. Arbeit am letzten Trainingstag erreicht. Am 20. Versuchstag bei 45°C Hitze steht dem ein Wert von 118/min bzw. 116/min gegenüber. Die VP hat nahezu den Trainingswert erreicht.

2) Rektaltemperatur und Wärmespeicherung

Im Trainingsversuch lag die Ruhe-Rektal-Temp. bei durchschnittlich 36,9°C.

Am 1. Versuchstag bei Hitze stieg die RT auf 37,6°C an, fällt jedoch schon am 2. Tag auf einen Wert von 37,1°C und damit auf ein Temperaturniveau ab, das bis zum 22. Tag nahezu unverändert bestehen bleibt.

Die Parallelität zur Ruhepulsfrequenz wird deutlich:
Am 1. Versuchstag Anstieg auf 97/min, am 2. Tag Abfall auf 83/min und damit ebenfalls auf einen Wert, der bis zum Ende des Versuches noch weiter abfällt.

Kommt während der Arbeitsperiode bei einer Arbeitsleistung von 10 kpm/s zu der "äusseren Wärmebelastung" zusätzlich eine "innere Wärmebelastung" hinzu, so wird die Temperaturregulation mit der abfallenden Wärme zunächst nicht fertig: Die Kerntemperatur steigt an.

Am 1. Versuchstag liegt die RT nach der 1. Arbeitsstunde bei 38,9°C, nach der 2. Arbeitsstunde bei 39,2°C. Wegen völliger Erschöpfung der VP muss der Versuch unterbrochen werden. Erst am 3. Versuchstag bewältigt die VP das gesamte Versuchsprogramm einschliesslich der 4. Arbeit.

Die Rektaltemperatur hat nach der 4. Arbeit mit 39,5°C das Maximum für den gesamten Versuch erreicht.

Der Anstieg der RT von Arbeitsstunde zu Arbeitsstunde stellt eine entsprechende Wärmestauung dar, d.h. es gilt zunächst:

$RT_1 < RT_2 < RT_3 < RT_4$.

Am 6. Tag ist jedoch nicht nur ein erheblicher RT-Abfall für sämtliche Arbeiten, sondern auch eine Umkehrung eingetreten: Die RT der 2. und 3. Arbeitsstunde liegen unter der 1. Arbeitsstunde. Die Differenzen zwischen den RT der einzelnen Arbeiten verringern sich zunehmend. Am 16. Tag liegt die RT nach der 4. Arbeit auf dem Niveau der 2. und 3. Arbeit, während die RT nach der 1. Arbeit nur 1/10°C niedriger ist. Vom 16. Tag an tritt praktisch keine zusätzliche Wärmespeicherung nach der 1. Arbeit auf.

Die Wärmespeicherung, die in der Abb. 3 dargestellt wurde, gibt jedoch die Wärmespeicherung wieder, die vom Beginn der 1. Arbeit bis zur Beendigung der 4. Arbeit eingetreten ist. Sie ändert sich nach dem 18. Tag nur noch geringfügiger, da sich die RT der 4. Arbeit auf ein Niveau von etwa 38°C eingestellt hat. Die Abnahme der Wärmespeicherung vom 3. bis 18. Tag läuft parallel zur Abnahme der RT der 4. Arbeit.

Die Parallelität zwischen Pulsfrequenz und Rektaltemperatur trifft nicht nur für die Ruhewerte sondern auch für die während der Arbeit gemessenen Werte zu: Die entscheidende Verschiebung in einen niedrigeren Temperaturbereich erfolgt schon am 6. Versuchstag. Die Angleichung der RT für alle 4 Arbeitsstunden wird am 16. Versuchstag erreicht.

Die Veränderung der Pulsfrequenzen und der Rektaltemperaturen lassen sich unter dem Aspekt thermoregulatorischer Vorgänge zusammenfassen. Die

Die innere und äussere Wärmebelastung führen als Störgrössen zu einer Wärmebelastung, d.h. zu einem Anstieg der RT mit einem Maximum von 39,5°C am 3. Tag. Das Einsetzen der Temperaturregulation zeigt sich bereits am ersten Versuchstag durch eine Steigerung der Ruhe- und Arbeitspulsfrequenzen gegenüber den Trainingswerten. Durch Nachlassen des Vasokonstriktorentonus der Hautgefässe wird eine Stellgrösse wirksam, die die gestaute Wärme vermehrt vom Kern zur Schale transportiert, mit dem Eintritt einer verbesserten Abgabe über die Verdunstung (s.u.) nimmt die Wärmestauung ab, die RT fällt, die periphere Durchblutung wird vermindert, die Kreislaufsituation stabilisiert sich. Spätestens am 6. Versuchstag befindet sich die VP ausserhalb der Hyperthermie- und Kreislaufkollapsgefahr.

3) Wärmeaufnahme - Schweissproduktion - Verdunstung

Bei einer Aussentemperatur von ca. 32°C setzt nach ansteigender perspiratio insensibilis die Schweissproduktion ein. (WINSLOW & HERRINGTON, 1949; HERTZMANN, 1952; HÖFLER, 1963). Bei weiterer Temperaturzunahme erfolgt die Wärmeabgabe schliesslich allein über die Schweissverdunstung. Damit wird die Schweissproduktion zur dominierenden Stellgrösse für die Thermoregulation.

In unserem Versuch steigt die Schweissmenge von 3745 ml/4h am 3. Tag auf 5060 ml/4h am 22. Tag um ca. 35% an. In kcal. umgerechnet zeigt die Abb. 5 im gleichen Zeitraum eine Zunahme von 2173 kcal/4h auf 2934 kcal/4h. Nach gleichmässigem Anstieg bis zum 9. Tag erfolgt die weitere Zunahme der Schweissproduktion bis zum 22. Tag unter erheblichen Tagesschwankungen: So wird am 11. Tag mit 3013 kcal/4h bereits der Wert des 22. Tages (2935 kcal/4h) übertroffen. Am 12. Tag hingegen fällt die Schweissmenge

auf einen Wert von 2477 kcal/4h ab. Die Tageshöchstmenge wird mit 5665 ml/4h entsprechend 3280 kcal/4h am 19. Tag erreicht. Untersucht man die jweiligen Tagesschweissmenge für die einzelnen Arbeitsstunden, so fällt auf, dass an einigen Tagen recht erhebliche Differenzen für die Schweissbildung in den einzelnen Stunden auftreten. (z.B. am 9. Tag 5,8 ml/kg.h für die 2, Stunde gegenüber 17,7 ml/kg.h für die 4. Stunde). Während bis zum 9. Versuchstag die durchschnittliche Schweissbildung der 4. Stunde am höchsten (vor der 1. und 3. Stunde), die der 2. Stunde am niedrigsten liegt, ändert sich dieses Bild nach dem 9, Versuchstag. Das Schweissbildungsmaximum ist auf die 2. Stunde hin verschoben, während die 1. Stunde über der 4. und 3. Stunde liegt.

Die im Laufe der Akklimatisation eintretende Verschiebung des Schweissbildungsmaximums auf die 2. Stunde entspricht den Ergebnissen von STRYDOM (1966) und LAASER (1968). LAASER (1968) stellt ausserdem fest, dass unter seinen Versuchsbedingungen im künstlichen feuchtheissen Klima die Schweissbildung der 4. Stunde durchweg unter der der drei anderen Stunden blieb.

In dem hier dargestellten Versuch unter trockenheissen Klimabedingungen liegt die Schweissbildung der 4. Stunde jedoch weitaus höher: Bis zum 9. Tag übertrifft sie die Werte der drei anderen Stunden. (Für die 4. Stunde durchschnittlich 13,4 ml/kg.h gegenüber 12,9/kg.h der zweithöchst gelegenen 1. Stunde).

Der Durchschnittswert der Schweissbildung für sämtliche Versuchstage liegt für die 1. und 4. Stunde am höchsten.

1. Stunde	14,09 ml/kg.h
4. Stunde	14,06 ml/kg.h
3. Stunde	13,29 ml/kg.h
2. Stunde	13,07 ml/kg.h

Da in der 2. Stunde zu Beginn des Versuchs am wenigsten Schweiss produziert wurde, dieser im weiteren Verlauf jedoch ständig zunahm, ist anzunehmen, dass bei längerer Versuchsdauer die Durchschnitts-Schweisswerte sich weiter angenähert hätten.

Nachdem dargestellt wurde, wie die Stellgrösse Schweissbildung im Laufe des Versuches zunehmend wirksam wird, soll nun die Frage nach ihrer Effektivität untersucht werden: Inwieweit führt die Zunahme der produzierten Schweissmenge auch zu einer Verdunstungszunahme? Deshalb soll im Folgenden die Verdunstungsgrösse dargestellt werden, durch die der entscheidende Wärmetransport von der Hautoberfläche an die Umgebung erfolgt. Die Verdunstung wurde aus der Wärmebilanzgleichung berechnet.

$V = M \pm Q_{c,s} \pm \Delta H$ (kcal/h)

Um den Gesamtstoffwechsel M zu bestimmen, wurde zunächst der O_2-Verbrauch durch Gasanalyse bestimmt. Bei einem Atemvol. von 24l/min wurden 5,8% O_2 verbraucht. Für 45' entspricht das einem Umsatz von 301 kcal/45'. Bei einer Arbeitsleistung von 10 kpm/s wurden 63 kcal/45' durch mechan. Arbeit abgegeben, die von diesem Wert abgezogen werden. Da nur 45' gearbeitet wurde, wird für 15' der Grundumsatzwert von 20 kcal addiert, um auf den Stundenwert zu kommen.

Für M erhält man:

301 kcal - 63 kcal + 20 kcal = 258 kcal.

Auf der Abb. 6 ist die Gesamtverdunstung für die einzelnen Versuchstage aufgetragen.

Sie steigt von 1376 kcal/4h am 3. Tag auf 1535 kcal/4h am 22. Tag an. Bereits am 6. Tag wird mit 1500 kcal/4h über 90% des Gesamtzuwachses erreicht. Dieses Ergebnis lässt sich gut in Einklang bringen mit den Veränderungen, die die Pulsfrequenz, die RT und die Wärmespeicherung erfuhren:

Die Pulsfrequenz der 1. + 4. Std. erreichten am 6. Tag das Niveau des 22. Tages.

Die RT liegt bei einem Durchschnittswert von 38,2°C für alle 4 Arbeiten sogar unter dem Endwert des 22. Tages (38,3°C).

Die Wärmespeicherung hat am 6. Tag nach steilem Abfall von (68 kcal/4h auf 84 kcal/4h entsprechend dem Anstieg der Verdunstung) nur noch den halben Ausgangswert. (Die kurzfristige Zunahme der Wärmespeicherung vom 6. - 8. Tag findet ihre Parallele in einer entsprechenden Verdunstungsabnahme im gleichen Zeitraum). Durch die zunehmende Verdunstung fällt jedoch die Hauttemperatur ab, die Wärmeaufnahme durch Konvektion und Strahlung nimmt zu.

Vom 3. bis 22. Tag hat die Verdunstung um 159 kcal/4h, die Wärmeaufnahme durch C und S jedoch nur um 61,5 kcal/4h im gleichen Zeitraum zugenommen. Damit wird deutlich, dass die Steigerung der Verdunstung eine entsprechende Zunahme der Wärmeaufnahme durch Konvektion und Strahlung zur Folge hat, die im Zuge der Akklimatisation die Wärmebilanz verschlechtert.

Da die Kern-Temperatur die wichtigste Grösse der Thermoregulation darstellt, soll nun der Erfolg der Akklimatisation zusammenhängend an der Veränderung der Schweissbildung und der Verdunstung in ihrer Beziehung zur Rektaltemperatur dargestellt werden.

In der graphischen Darstellung der Abb. 8 werden die Durchschnittswerte dieser drei Grössen für den 3. und 5. Tag, sowie für den 20. - 22. Tag zusammengefasst. Auf der Ordinate sind die Werte für die Schweissbildung und die Verdunstung nicht für die einzelnen Stunden, sondern kumuliert für den Zeitraum von 1, 2, 3 und 4. Std. dargestellt. Auf der Abszisse sind die zugehörigen Durchschnittswerte der RT für den 3. - 5. Tag und für den 20. - 22. Tag aufgetragen.

Man erhält so für die Schweissbildung und für die Verdunstung in Abhängigkeit von der jeweiligen RT zwei Kurven, die mit dem akklimatisierten und noch nicht akklimatisierten Zustand der VP gleichgesetzt werden können. Es ist zu bemerken, dass die Werte des 3. - 5. Tages nicht den eigentlichen Beginn, sondern schon ein Zwischenstadium der Akklimatisation wiedergeben. Im akklimatisierten Zustand (20.- 22. Tag) sind Verdunstung und Schweissbildung zu tieferen Kerntemperaturen hin verschoben. Ausserdem verlaufen beide Kurven steiler, d.h. die Rektaltemperaturzunahme von der 1. zur 4. Arbeitsstunde hat abgenommen.

Die Schweissproduktion setzt nicht nur bei niedriger RT (bei ca. 38°C) ein, sondern nimmt im Verlauf der 4. Stunde stärker zu. Ferner fällt auf, dass der Ordinatenabstand beider Kurven nach der Akklimatisation sich beträchtlich vergrössert hat. Das bedeutet, dass die Schweissmenge im Verhältnis zur Verdunstung weit mehr zugenommen hat. Es ist zu fragen, ob die stark ansteigende Schweissproduktion, die am 20.-22. Tag etwa das doppelte der Verdunstung ausmacht, eine Verbesserung der Verdunstungsbedingungen erreicht.

Die maximal mögliche Verdunstung, die Verdunstungskapazität C wird erreicht, wenn bei gegebener Hauttemperatur Sättigungsdampfdruck herrscht.

In der Abb. 7 wird die Verdunstungskapazität für 4 Arbeitsstunden vom 3. - 22. Versuchstag dargestellt. Die Verdunstungskapazität fällt vom 3. zum 22. Tag von 1911 kcal/4h auf 1555 kcal/4h um 19% ab. Die Erklärung dieser Abnahme liegt in der durch die Schweissproduktion erzeugten Senkung der Hauttemperatur und damit des Sättigungsdampfdruckes.

Das bedeutet, dass mit der Akklimatisation bei abfallender Hauttemperatur die Verdunstung erschwert wird. Ferner nimmt die nicht verdunstete

Schweissmenge zu.

HÖFLER und LADIPOH (1968) konnten nachweisen, dass infolge der Zunahme der nicht verdunsteten Schweissmenge eine vollständigere Benetzung der Haut erreicht wird. Auf diese Weise kann eine maximale Verdunstung erzielt werden.

In der Abb. 9 sind die Quotienten V/C gegen S/C, sowie S/V gegen S/C aufgetragen. Die Zahlen geben jeweils den Arbeitstag an, an dem der Wert für 4 Arbeitsstunden eingetragen ist.

Es ist zu erwarten, dass in Abhängigkeit der produzierten Schweissmenge sich auch das Verhältnis Verdunstung zu Verdunstungskapazität ändert. In den ersten zehn Versuchstagen reicht die gebildete Schweissmenge aus, etwa 70% der maximal möglichen Verdunstung zu erreichen. In dieser Zeit beträgt die Schweissmenge bereits etwa 1,5 der Verdunstungsgrösse. Steigert sich die Schweissmenge vom 10. - 20. Tag auf etwa das Doppelte der Verdunstung, so wird die maximal mögliche Verdunstung erreicht, da die Haut erst jetzt vollständig befeuchtet ist. Damit lassen sich die von HÖFLER (1969) und LADIPOH (1969) erarbeiteten Ergebnisse bestätigen, nachdem BRISBANE (1969) diese auch im künstlichen feucht-heissen Klima bei intermittierendem Klimakammeraufenthalt gefunden hatte: Nach Akklimatisation im feucht-heissen Klima wird V/C erst = 1,0 wenn die Schweissmenge mindestens den doppelten Wert von V bzw. C erreicht. Der Unakklimatisierte kann diese Schweissmenge nicht liefern.

Im Unterschied zu den Akklimatisationsvorgängen im feucht-heissen Klima steigt im trocken-heissen Klima V stärker an als Q. Das hat zur Folge, dass die Wärmespeicherung geringer ist. Entscheidend dürfte dafür das von Anfang an günstigere Verhältnis S/C sein:

Während im Versuch LAASER/LADIPOH das Verhältnis S/C vom 26. bis 35. Tag bei 2,2 bis 2,4 für V/s = 1 liegt, wird in unserem Versuch schon vom 10. bis 22. Tag ein Wert von 1,4 bis 2,1 erreicht. Man kann annehmen, dass in diesem Versuch die Hautfeuchte im Mittel sogar etwas unter 100% gelegen hatte. Das raschere Einsetzen der Akklimatisationsvorgänge im trocken-heissen Klima wird auch in der Abb. 8 deutlich:

1) Die Verdunstungs- und Schweissmengen liegen beträchtlich höher. (Dabei muss man allerdings die etwas grössere Arbeitsleistung von 10 kpm/s gegenüber 8 kpm/s berücksichtigen).

2) Die Verschiebung der höheren Schweissproduktion zu niedrigeren RT setzt früher ein.

Kehren wir noch einmal zum Regelschema zurück und fassen wir die für die Thermoregulation entscheidenden Vorgänge der Akklimatisation zusammen:

Auch im künstlichen trocken-heissen Klima bei intermittierendem Klimakammeraufenthalt stellt die Schweissproduktion die entscheidende Stellgrösse für die Thermoregulation dar. Nur durch genügende Schweissbildung kann eine ausreichende Wärmemenge abgegeben, bzw. die Wärmebilanz ausgeglichen werden. Zu Beginn des Versuchs reicht die produzierte Schweissmenge nicht aus, um eine optimale Verdunstung zu erreichen. Die Benetzung der Hautoberfläche ist ungenügend. Die Verdunstung erfolgt bei hoher und weiter steigender Kerntemperatur, die Wärmestauung erreicht bedrohliche Grade. Der Anstieg der Schweissmenge führt zu einer zunehmenden Ausnutzung der Verdunstungskapazität. Bei vollständiger Benetzung der Haut kann nun eine optimale Verdunstung erfolgen: Die Wärmebilanz gleicht sich aus, der Wärmeinhalt pendelt sich auf ein konstantes Niveau ein, die Kerntemperatur kehrt zum Sollwert zurück, da die Schweissproduktion schon bei niedrigeren Kerntemperaturen einsetzt.

Zusammenfassung

In einem 22tägigen Klimakammerversuch mit trockenheissem Klima (45°C, 28% R.F.) arbeitete eine 29jährige männliche Vp täglich 4 x 45 min bei 10 mkp/s auf dem Fahrradergometer. Beurteilt nach dem Verhalten der wichtigsten Messgrössen - Abfall der Pulsfrequenz, der Rectaltemperatur, Zunahme der Schweissmenge - verlief die Akklimatisation sehr rasch. Vom 6. Versuchstag an änderten sich die Messgrössen nur noch wenig. Eine Angleichung der einzelnen Arbeitsstunden aneinander wurde dagegen erst vom 16. Tag an erreicht.

Die Temperaturabhängigkeit von Schweissmenge und Verdunstung zeigte die gleichen Veränderungen mit der Akklimatisation wie vorangegangene Versuche in feuchtheissem Klima: Zunehmend steilerer Verlauf und Verschiebung zu niedrigerer Kerntemperatur. An der Abhängigkeit des Quotienten Verdunstung/Verdunstungskapazität zum Quotienten Schweissmenge/Verdunstungskapazität lässt sich zeigen, dass die Schweissmenge in den ersten Tagen für eine vollständige Wasserbedeckung der Haut nicht genügte. Eine ausreichende Verdunstungs war nur bei hoher und von Stunde zu Stunde steigender Körpertemperatur möglich. Im akklimatisierten Zustand kommt es bei niedrigerer Körpertemperatur und höherer Schweissmenge zu einer für nahezu maximale Verdunstung ausreichenden Wasserbedeckung der Haut. Die Hyperthermiegefahr ist beseitigt.

L I T E R A T U R V E R Z E I C H N I S

BAZETT, H.C.: The effect of heat on blood volume and circulation.
J. Amer. med. Ass. 111, 1841 (1938)

BÜNING, M.: Die physiologischen Vorgänge bei der Hitzeakklimatisation des Menschen.
Dissertation, Tübingen (1963)

BRISBANE, S.: Änderungen von Wärmebilanzgrössen bei der Akklimatisation in feuchtheissem Klima.
Dissertation, Tübingen (1969)

CLIFFORD, J., KERSLAKE, D.M. and WADELL, J.L.: The effect of wind speed on maximum evaporation capacity in man.
J.Physiol.(London) 147, 253 (1959)

HÖFLER, W.: Verhalten der Schweissekretion bei der Akklimatisation in einem natürlichen tropischen Klima.
Int. Z. angew. Physiol. einschl. Arbeitsphysiol. 22, 317-326 (1966)

HÖFLER, W.: Hitzeakklimatisation
Hippokrates 14, 517-524 (1968)

HÖFLER, W., LADIPOH, J. und LAASER, U.: Beziehung zwischen Schweissmenge, Verdunstung und Körpertemperatur bei der Akklimatisation in künstlichem feuchtheissen Klima.
Int. Z. angew. Physiol. 27, 34 (1969)

KERSLAKE, D.M.: Errors arising from the use of mean heat exchange coefficients in the calculation of the heat exchange of a cylindrical body in a transverse wind.
In: Temp. Meas. Contr. Sc. Ind. New York, Reinhold (1963)

KUNO, Y.: The Physiology of Human Perspiration
London: Churchill (1965)

LAASER, U. und LADIPOH, J.: Dissertationen, Tübingen (1968)

LEHMANN, G.: Die Arbeitsfähigkeit des Menschen im tropischen Klima.
Veröff. d. A.G. f. Forschung d. Landes Nordrhein-Westfalen,
Heft Nr. 144, Köln Opladen (1965)

REIN-SCHNEIDER: Lehrbuch d. Physiologie, 15. Aufl.
Stuttgart, Springer-Verlag, 235-240 (1964).

ROBINSON, S., TURELL, E.S., BELDING, H.S., HORVATH, S.M.:
Rapid acclimatisation to work in hot climates.
Amer. J. Physiol. 140, 168 (1943)

SCHMOLL, D.: Phasen der Akklimatisation an Hitzearbeit während eines
dreiwöchigen Daueraufenthaltes in einem feuchtheissen Klima.
Dissertation, Tübingen (1966)

TABELLE 1

Wärmebilanzgrössen während ein- bis vierstündiger Hitzearbeit für die ersten drei (3. - 5. Tag) und letzten drei (20.-22. Tag) Tage.

	1 Stunde	2 Stunden	3 Stunden	4 Stunden
Wärmespeicherung ΔH	kcal/h	kcal/2h	kcal/3h	kcal/4h
3. - 5. Tag	91 ± 19	107 ± 18	110 ± 14	140 ± 28
20. -22. Tag	54 ± 4	56 ± 7	61 ± 4	58 ± 11
p	< 0,05	< 0,01	< 0,01	n.s.
Konvektion und Strahlung $Q_{C,s}$				
3. - 5. Tag	140 ± 5	268 ± 12	395 ± 17	517 ± 19
20. -22. Tag	153 ± 10	295 ± 10	430 ± 10	565 ± 13
p	n.s.	< 0,05	< 0,05	< 0,05
Verdunstung V				
3. - 5. Tag	314 ± 9	677 ± 28	1059 ± 34	1409 ± 56
20. -22. Tag	358 ± 9	755 ± 14	1124 ± 44	1538 ± 21
p	< 0,001	< 0,05	n.s.	< 0,05

TABELLE 2

Kerntemperatur, Schweissmenge und Verdunstung während ein- bis vierstündiger Hitzearbeit für die ersten drei (3.-5. Tag) und letzten drei (20.-22. Tag) Tage

	Ruhe	1 Stunde	2 Stunden	3 Stunden	4 Stunden
Kerntemperatur °C					
3. - 5. Tag	37,1 ± 0,7	38,4	38,5	38,6	38,7
20. -22. Tag	37,2 ± 2,6	38,0	38,0	38,0	38,1
p	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.
Schweissmenge S		kcal/h	kcal/2h	kcal/3h	kcal/4h
3. - 5. Tag		573 ± 36	1071 ± 88	1629 ± 141	2268 ± 117
20. - 22. Tag		765 ± 74	1514 ±228	2254 ± 185	2978 ± 207
p		< 0,05	< 0,05	< 0,01	< 0,01
Verdunstung V					
1. - 3. Tag		314 ± 9	677 ± 28	1059 ± 34	1409 ± 56
20. -22. Tag		358 ± 9	755 ± 14	1124 ± 44	1538 ± 21
p		< 0,001	< 0,05	n.s.	< 0,05

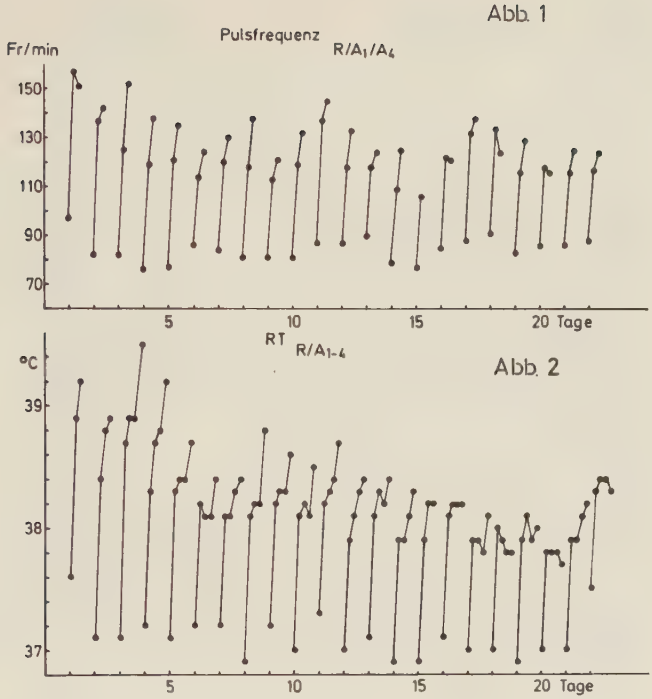

Abb. 1: Zeitlicher Verlauf der Pulsfrequenzen bei Ruhe, sowie für die 1. und 4. Stunde

Abb. 2: Zeitlicher Verlauf der Kerntemperaturen bei Ruhe, sowie nach der 1. bis 4. Stunde

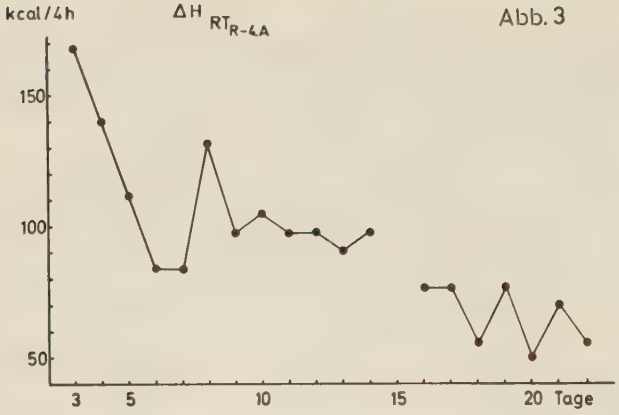

Abb. 3

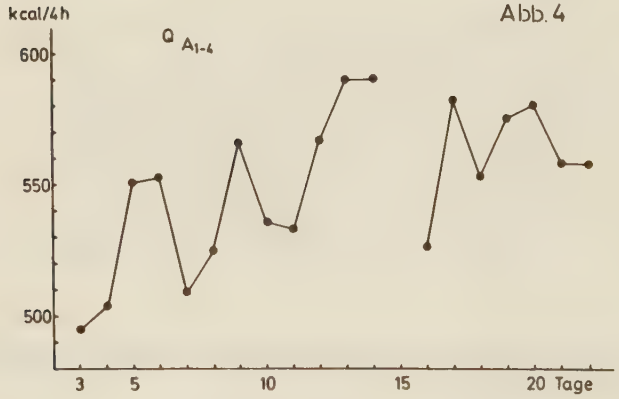

Abb. 4

Abb. 3: Verhalten der Wärmespeicherung während des Versuchsablaufes

Abb. 4: Verhalten der Wärmeabgabe bzw. -aufnahme durch Konvektion und Strahlung während des Versuchsablaufes

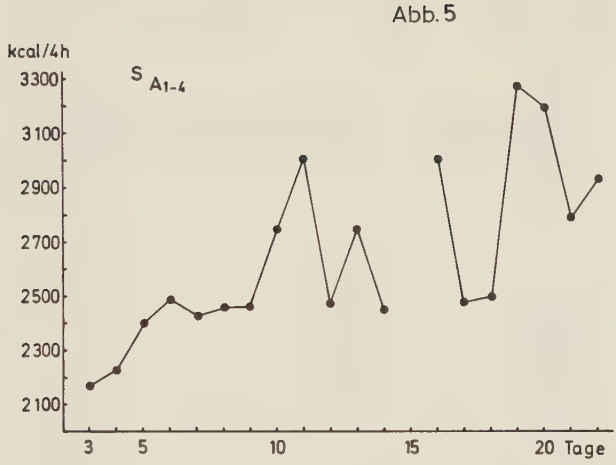

Abb. 5: Zeitlicher Verlauf der produzierten Schweissmenge in kcal/4h

Abb. 6

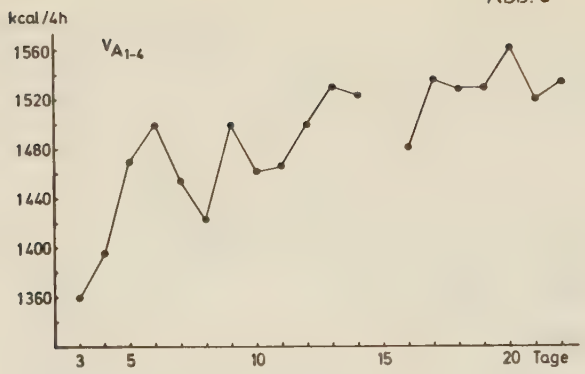

Abb. 7

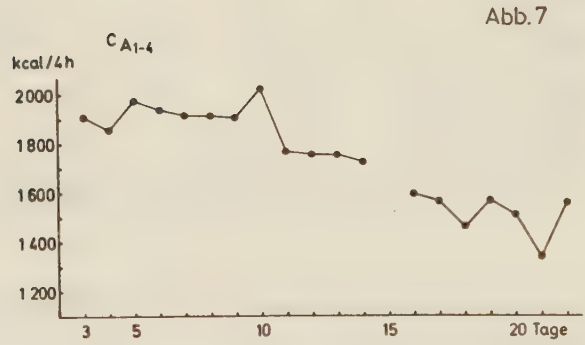

Abb. 6: Zeitlicher Verlauf der Wärmeabgabe durch Verdunstung

Abb. 7: Änderung der Verdunstungskapazität während des Versuchsablaufes

Abb. 8

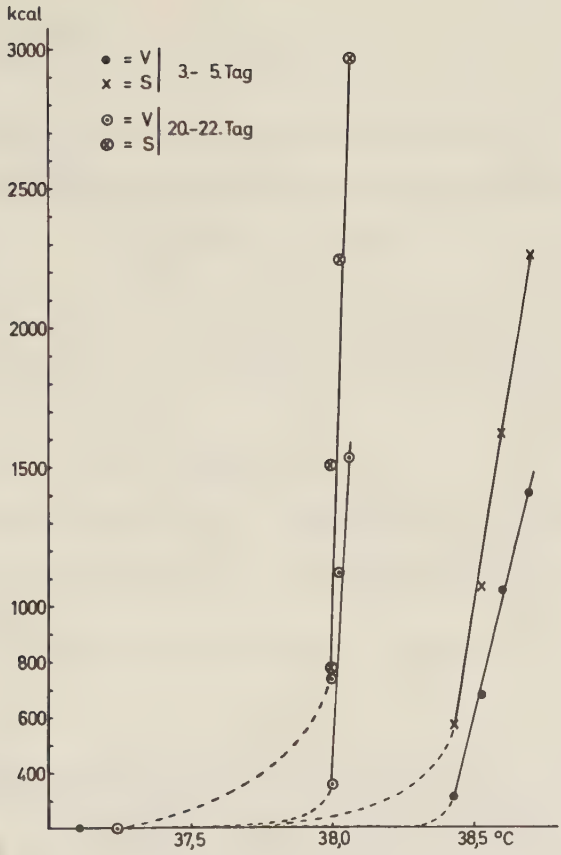

Abb. 8: Beziehung zwischen Schweissmenge bzw. Verdunstung und Kerntemperatur während des 3. - 5. und 20. - 22. Tages. Die in 1 - 4 Stunden gebildete bzw. verdunstete Schweissmenge ist gegen die zu diesem Zeitpunkt erreichte Kerntemperatur aufgetragen

Abb. 9

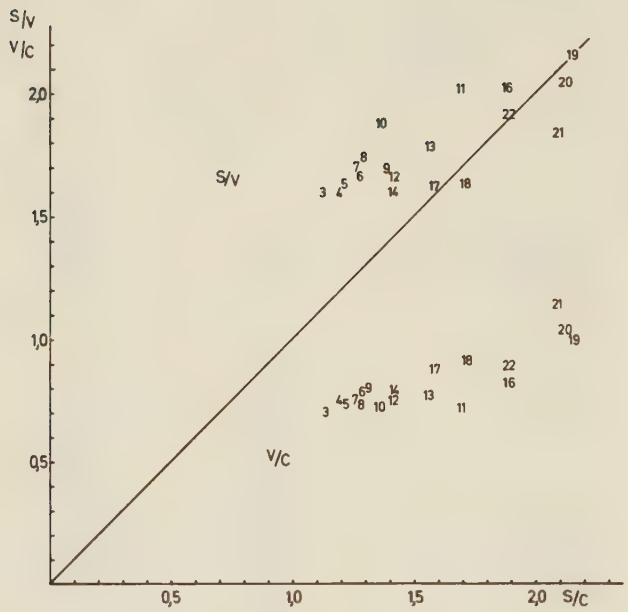

Abb. 9: Beziehung zwischen Verdunstungskapazität C, Schweissmenge S und Verdunstung V. Der Abstand der Kurve V/C = f (S/C) von der Geraden V = S entspricht der nicht verdunsteten Schweissmenge. Wenn die V/C-Werte auf der Geraden liegen, ist V = S. Wenn die S/V-Werte auf der Geraden liegen, ist V = C. Die Zahlen geben den jeweiligen Arbeitstag an, für den der errechnete Wert für 4 Arbeitsstunden eingetragen ist.

Bei Herrn Prof. Dr. W. Höfler bedanke ich mich dafür, dass er mir das Thema zu dieser Arbeit gegeben und mir bei der Ausarbeitung geholfen hat.

Herrn Prof. Dr. H.-J. Knüttgen danke ich, dass ich die Einrichtungen des Tropenmedizinischen Instituts der Universität Tübingen benutzen durfte.

Ganz besonderen Dank auch Fräulein I. Hermann für ihre grosszügige Mithilfe bei der Registrierung der Messergebnisse und der Anfertigung der Fotografien.

Herrn J. Wallis danke ich für die Arbeit als Versuchsperson.

L E B E N S L A U F

Am 23. Juni 1943 wurde ich, Walter Fischer, als Sohn des Professor Dr. Gert-Heinz Fischer und seiner Ehefrau Dr. Anna Fischer, geb. Baesecke, in Marburg/Lahn geboren.

Von 1949 bis 1954 besuchte ich die Volksschule in Marburg und wechselte Ostern 1954 auf das dortige Gymnasium Philippinum über, wo ich 1963 das Abitur bestand.

Nach einjähriger Wehrdienstzeit begann ich im Sommersemester 1964 das Medizinstudium an der Philipps-Universität in Marburg. Hier legte ich 1965 das Vorphysikum und 1966 das Physikum ab. Anschliessend studierte ich ein Semester in Wien. Vom Sommersemester 1967 bis zum Sommersemester 1969 setzte ich mein Studium in Tübingen fort. Hier bestand ich im Februar 1970 mein Staatsexamen.